



Systèmes de villes et niveaux d'organisation

Denise Pumain

► To cite this version:

Denise Pumain. Systèmes de villes et niveaux d'organisation. P. Bourguine, A. Lesne. Morphogenèse. L'origine des formes, Belin, pp.239-263, 2006, Echelles. halshs-00145939

HAL Id: halshs-00145939

<https://shs.hal.science/halshs-00145939>

Submitted on 13 May 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Systèmes de villes et niveaux d'organisation

Denise Pumain
Professeur, Université Paris I
Institut Universitaire de France

Publié dans : Bourguin, P. Lesne A. (ed.) *Morphogenèse*, Paris, Belin, Collection Echelles, 2006, 239-263..

Il est assez facile de se représenter une ville comme le résultat de multiples interactions, entre des acteurs (collectivités territoriales, entreprises, groupes sociaux, habitants), leurs artefacts matériels ou symboliques (logements, équipements, institutions, représentations), et des événements ou des épisodes marqués par certaines interventions politiques, des conjonctures économiques, des innovations techniques... L'histoire récente des écrits sur la ville est jalonnée de formalisations conceptuelles de la production de l'espace urbain (H. Lefebvre, 1974), de modèles de dynamique urbaine à la Forrester (1964), ou encore de modèles d'auto-organisation inspirés de la synergetique (Weidlich, 2000, Portugali, 1999) ou des structures dissipatives (Allen, 1998). La théorie des jeux a inspiré un jeu de simulation des interactions entre acteurs urbains, maintes fois réédité, SIMCity.

Mais, à un autre niveau d'organisation, apparaissent des propriétés émergentes, issues des différentes formes d'échanges et d'interaction qui se produisent *entre* les villes, à plus ou moins longue distance. Ces propriétés sont caractéristiques de l'organisation des villes en réseaux, en systèmes, à un niveau macro-géographique, à l'échelle d'une grande région, d'un Etat ou d'un continent, voire du Monde. Elles contraignent à leur tour le devenir de chaque ville, dans la mesure où elles constituent des règles spontanées de la co-évolution des villes. Certaines de ces propriétés rapprochent les formes d'organisation des systèmes de villes de celles de systèmes physiques, tellement les régularités observées sont générales et universelles. Peut-on alors imaginer les expliquer par des modèles dynamiques dont le fonctionnement serait indépendant du temps et des règles propres à chaque société ? La structuration des systèmes de villes peut-elle ainsi être décrite par des modèles de croissance stochastique, ou des modèles géométriques (type fractales), ou bien par des modèles économiques a-temporels ? Dans quelle mesure ces systèmes bien particuliers sont-ils au contraire des objets sociaux qu'il importe de considérer dans leur dimension évolutive, par exemple pour interpréter sur la longue durée l'émergence de leur structure et ses transformations, notamment sous l'effet des modifications technologiques de l'espace-temps, jusqu'à quel point faut-il prendre en compte les accidents marquants de leur histoire pour en comprendre les particularités de forme ? La plus grande complexité des interprétations et des modèles suivant cette deuxième voie semble nécessaire, quand il s'agit de tester des hypothèses sur l'évolution future des villes.

1 Trois niveaux d'observation du fait urbain

Il y a quarante ans que le géographe américain Brian Berry proposait de résumer la conception de l'organisation de l'espace géographique par les villes en deux niveaux, dans le vocabulaire de la systémique : « *cities as systems within systems of cities* » (Berry, 1964). Mais ce type de représentation de l'urbanisation remonte à bien plus loin dans le temps,

puisque par exemple on trouve dans l'article de Jean Reynaud, rédigé pour l'article « Villes » de l'Encyclopédie nouvelle en 1841, l'expression de « système général des villes » (cité par Robic, 1982). Il faut bien sûr ajouter à ces deux niveaux celui des acteurs urbains (usagers, ménages, entreprises, municipalités, promoteurs, chambre de commerce...) qui participent au fonctionnement et à la mise en place des systèmes urbains. Ces deux niveaux, sont caractérisés par des descripteurs spécifiques, propres à chacune des échelles. Les régularités observées, les formes et les interprétations qui en sont proposées diffèrent aussi généralement selon le niveau considéré, celui de la ville, ou celui des réseaux de villes. Les géographes ont identifié depuis longtemps, sans se les représenter sous ce terme, les propriétés émergentes, spécifiques du niveau d'échelle des objets qu'ils étudient. Ces propriétés consistent, soit en nouvelles variables, qui sont attachées à un niveau précis et seraient sans véritable signification à d'autres niveaux d'observation, soit en formes, en structures, en configurations, voire en questions ou types d'analyse, qui caractérisent un niveau d'observation et ne sont formulées qu'à son sujet (figure 1).

1.1 Des propriétés émergentes au niveau de la ville

Au niveau de la ville, les concepts de site et de situation ont été élaborés dès les premières analyses urbaines (Raoul Blanchard dans ses monographies d'Annecy et de Grenoble vers 1910). Ce sont des concepts qui d'emblée définissent les principaux attributs de la ville en termes relationnels, relations avec les éléments du milieu naturel ou aménagé qui composent l'environnement immédiat de la ville (échelle locale) dans le cas du site, relations avec d'autres villes, avec des éléments de relief comme des montagnes ou des couloirs de circulation, ou avec des réseaux de communication et les autres villes qui en sont les nœuds, (relations définies à l'échelle régionale, nationale voire mondiale selon la ville considérée) dans le cas de la situation.

Tout aussi caractéristique de l'entité collective qu'est la ville sont les notions employées pour l'analyse de la morphologie urbaine. La forme des plans de ville, radio-concentrique ou en damiers, le caractère mono- ou polycentrique, la plus ou moins grande symétrie de la forme, son aspect compact ou au contraire dendritique, les particularités architecturales qui composent le paysage urbain, sont des attributs qui se réfèrent à cette entité globale qu'est la ville. La description plus riche qui en est donnée par la notion d'ambiance urbaine, laquelle associe à des éléments objectifs du paysage urbain (volume des constructions et des espaces libres, ombres et lumières, températures, bruits, vent, odeurs...) des qualités d'appréciation sensorielle (ouverture ou fermeture, calme, mouvement...), appartient aussi à cette série des descripteurs globaux qui sont définis pour le niveau de l'entité ville. De même, les différents gradients centre-périphérie (de densité de la population résidente, de prix du sol ou de l'immobilier), qui résument les décroissances régulières de ces indicateurs selon des fonctions exponentielles de la distance au centre (selon le modèle de Clark formulé dès 1951), expriment la structure auréolaire du champ urbain. Même si la variable densité peut être interprétée à l'échelon individuel comme un indicateur d'espace disponible par habitant, même si le prix du sol, le loyer ou le prix de vente sont des indicateurs qui peuvent être rapportés à chaque immeuble ou à chaque logement, la disposition de ces grandeurs dans l'espace de la ville selon des configurations précises, récurrentes d'une ville à l'autre et assez stables dans le temps, résumées sous l'appellation de champ urbain, est bien une propriété émergente, qui apparaît presque systématiquement au cours de la croissance d'une ville, qui la caractérise et la structure à son niveau d'échelle. C'est une caractéristique morphologique essentielle qui se maintient durablement.

Tous ces concepts sont bien spécifiques de l'échelon de la ville, ils se réfèrent à cette entité agrégée, envisagée comme un tout, et ne sauraient s'appliquer à chacun des acteurs urbains pris isolément. Le caractère de propriété collective est apparemment plus difficile à distinguer des actions intentionnelles des acteurs mais ne s'en interprète pas moins de la même façon dans le cas de la composition sociale des villes. Les différentes configurations spatiales repérées à propos de la ségrégation sociale, qu'elles soient plutôt auréolaires dans le cas de la distribution des âges de la population ou de la taille des familles, qu'elles forment des secteurs plus ou moins riches ou pauvres, ou des mosaïques compliquées, selon le niveau de revenu ou le statut social, sont des structures dont la stabilité dépasse souvent de beaucoup la durée d'une génération d'individus et qui ne sauraient se réduire à la simple addition des choix individuels de sélectionner tel ou tel quartier de résidence (stratégies résidentielles). De même, les qualités attribuées aux quartiers ne sont pas que le produit de leurs avantages objectifs, elles sont amplifiées ou minorées par des effets collectifs de marquage social et de représentations des « bonnes » ou des « mauvaises » localisations.

Notons enfin que d'autres qualités collectives des villes, mesurables objectivement comme leur spécialisation économique et sociale, ou plus difficiles à objectiver mais ayant des effets sensibles sur leur attractivité, comme leur image, véhiculée par des représentations plus ou moins précises et travaillées par le marketing urbain, doivent aussi être considérés comme des propriétés émergentes. Nous verrons qu'elles sont produites, bien plus que les précédentes, non seulement par les interactions entre les acteurs urbains présents dans la ville même, mais aussi par les contraintes issues de son appartenance à des réseaux urbains, au niveau d'échelle supérieur. Le fait que la spécialisation ait été appelée fonction urbaine par les géographes situe bien cette qualité propre à chaque ville comme une expression du rôle qu'elle joue dans le système des villes.

1.2 La structure du système des villes

Au niveau du système des villes, les propriétés émergentes fascinent depuis longtemps les observateurs. Que dans tous les pays du monde et à toutes les époques, il y ait une hiérarchie urbaine telle que le nombre des villes suit une progression géométrique inverse de leur taille, constitue une caractéristique remarquable, invariante par rapport aux systèmes politiques ou économiques et culturels. La régularité de la distribution du nombre des villes en fonction de leur taille a été remarquée dès le XIXe siècle (elle suscite chez l'historien Emile Levasseur une analogie avec les galaxies), elle a été formalisée dès 1913 par le géographe Auerbach, qui note que le produit de la population d'une ville P par son rang r dans la hiérarchie est une constante, $P.r = K$, (ou encore « le nombre des lieux [habités] est en relation inverse de leur nombre d'habitants minimum », p.76) et utilise cette valeur comme un indice de concentration. Le statisticien Lotka (1924) applique cette régularité aux villes américaines et introduit une représentation graphique de la population des villes en fonction de leur rang sur deux échelles logarithmiques. Le sociologue Goodrich (1926), de l'école de Chicago, fait également mention de cette régularité statistique. L'économiste Singer note en 1936 la ressemblance entre la distribution des tailles de villes et la loi de Pareto mise au point pour décrire la distribution des revenus, tandis qu'en France, le statisticien R. Gibrat, dans une thèse sur les inégalités économiques, propose dès 1931 un autre modèle, celui de la distribution lognormale.

C'est pourtant le nom de Zipf qui reste attaché à la « loi rang-taille » (*rank-size rule*) qu'il systématise en 1941. Dans ce premier ouvrage, « *National unity and disunity* », Zipf se présente en découvreur et néglige totalement de citer les apports des pionniers, suscitant une

réaction immédiate de Lotka (« cette découverte n'est ni nouvelle, ni peut-être aussi frappante [...] Ce type de distribution de fréquence est, en fait, du type Pearson type XI, un cas particulier du type VI », 1941, p.164). Dans son ouvrage de 1949, « *Human Behaviour and the law of least effort* », Zipf ne signalera que de façon très approximative l'existence de prédécesseurs à l'expression de sa loi. Les explications théoriques que Zipf donne de son modèle (un « équilibre » supposé entre une force de concentration et une force de dispersion) manquent de rigueur et n'emportent guère la conviction. Toutefois, contrairement aux statisticiens de l'époque qui sont à la recherche d'une mesure de la concentration et n'utilisent les courbes qu'accessoirement, Zipf propose des analyses qualitatives de la forme des courbes, qu'il met en relation avec les vicissitudes politiques de la construction des Etats, ouvrant ainsi le modèle à une plus large interprétation. On peut regretter pourtant que sa représentation graphique, certes commode, s'éloigne des formes canoniques de présentation des distributions statistiques, ce qui a donné lieu par la suite à des incompréhensions de la part de certains de ses utilisateurs (qui l'ont interprétée comme un ajustement linéaire entre les logarithmes de la population des villes et leur rang, au lieu d'y repérer une distribution de fréquence cumulée en fonction de la taille). Ce modèle reste connu sous le nom de loi rang-taille, ou règle de Zipf, s'écrit sous sa forme la plus générale :

$P_i = K / r_i^a$ avec K =constante (proche de la population de la plus grande ville) et a peu différent de 1

Mais cette régularité statistique de la distribution des tailles des villes s'accompagne aussi d'une certaine régularité de leur disposition dans l'espace géographique, leur trame spatiale. La taille des villes, l'importance du carrefour qu'elles constituent et le nombre et la diversité des activités qu'elles rassemblent sont mis en relation dans des écrits d'ingénieurs confrontés à des réflexions territoriales d'économie politique, notamment à propos de la réalisation du tracé des chemins de fer. Le principe de la couverture du territoire en aires d'influence hexagonales par des centres hiérarchisés d'artisanat et de fonctions marchandes ou administratives a été d'abord énoncé par l'ingénieur saint-simonien J. Reynaud dès 1841, qui découvre ainsi tous les principes de ce qui deviendra au siècle suivant la « théorie des lieux centraux » (Robic, 1982), mais sa théorie du « système général des villes » est restée méconnue. Un polytechnicien spécialiste des réseaux ferroviaires, L. Lalanne (1863 et 1875), note l'optimalité d'une disposition des villes aux sommets de triangles équilatéraux ayant des espacements multiples d'une distance de base, alors que diminue le nombre des centres au fur et à mesure qu'on s'élève dans la hiérarchie administrative (cantons, sous-préfectures, préfectures). Il élabore ainsi une théorie inductive de la localisation des villes, régie par les « lois de l'équilatérie et des distances multiples », qu'il communique à l'Académie des Sciences, tout en redécouvrant ainsi certaines des régularités géométriques préconisées par le géographe allemand J.G. Kohl (1841) dans sa géographie de la circulation. Mais Lalanne ne considère « l'ordre des centres de population » qu'en fonction de leur place dans l'organisation administrative et politique des territoires. C'est le géographe allemand Walter Christaller (1933) qui apparaît comme l'inventeur incontestable d'une explication formalisée « du nombre, de la taille et de l'espacement des villes », appuyée sur des considérations économiques et géographiques. Le concept à la base de la théorie est celui de la centralité, qui résume l'interaction entre un *centre* où se concentre l'offre de services et une *région complémentaire* où est localisée la demande pour ces mêmes services. La ville est donc un marché, le lieu où se rencontrent l'offre et la demande pour les services. Plusieurs postulats complètent les fondements de cette théorie : le premier concerne le comportement spatial du consommateur, qui est censé se fournir au lieu d'offre le plus proche ; le second concerne la diversité des services, qui sont classés selon une hiérarchie de niveaux, liés à la plus ou moins

grande rareté de leur fréquentation, ainsi qu'à leur portée spatiale (distance maximale que le consommateur accepte de parcourir car c'est lui qui paie le coût de transport additionnel au prix d'achat) et leur seuil d'apparition (taille minimale de la zone de chalandise ou aire de marché, et donc du centre, pour que l'offre soit rentable) ; troisième postulat : les services de même portée se regroupent dans les mêmes centres, et les centres de niveau supérieur offrent tous les services dont la portée est inférieure à celle de leur niveau. De ces prémisses se déduisent des configurations hiérarchisées de centres et d'aires de marché hexagonales emboîtées. Plusieurs formes de cette hiérarchie de niveaux fonctionnels urbains (qui comporte de six à sept degrés) sont modélisées par Christaller, selon que le principe définissant le nombre de centres de chacun des niveaux consiste à maximiser les points d'offre, à réduire le coût des infrastructures de transport ou à faciliter le fonctionnement administratif. Christaller illustre sa théorie de constructions géométriques, combinées à partir des figures du cercle et du triangle, sous forme de semis réguliers de centres urbains entourés d'aires de marché hexagonales emboîtées. Déjà prédites, mais non dessinées, par Jean Reynaud un siècle plus tôt, ces figures feront le tour du monde pour la représentation de l'organisation des villes dans une région. Leur aptitude à simuler des configurations urbaines observées à un moment donné en diverses régions du monde a été maintes fois assez bien vérifiée, du moins en première approximation.

Trois critiques essentielles ont pu être adressées à cette théorie cependant: d'une part, en stipulant que le consommateur choisit le lieu d'offre le plus proche, elle néglige l'importance, croissante avec l'usage de l'automobile et la diffusion des formes concentrées de distribution, des « voyages à buts multiples » qui représenteraient quelque 40% du volume des achats et dont la conséquence essentielle est de court-circuiter les plus petits centres, et donc d'affaiblir les niveaux inférieurs de la hiérarchie urbaine prévus par la théorie (laquelle prévoit un ratio sensiblement constant entre les volumes de clientèle des centres de niveaux successifs, pour tous les échelons de la hiérarchie). La seconde critique majeure est liée au caractère statique de l'explication proposée, qui rend compte de l'existence de villes de taille différente à un moment donné mais n'explique pas comment elles se sont mises en place ni comment elles évoluent. Enfin, la troisième remarque porte sur la réduction des activités urbaines aux seules fonctions « centrales », de service à la population, ce qui fait que la théorie néglige d'expliquer la localisation des villes dites spécialisées, qui ont des fonctions de production industrielle ou touristique par exemple, lesquelles obéissent à d'autres facteurs de localisation que la proximité à une clientèle. La prétention de la théorie à expliquer la taille, le nombre et l'espacement des villes se trouve donc amoindrie.

En effet, une autre propriété émergente caractéristique des systèmes de villes est leur diversité fonctionnelle. Très tôt envisagée par des typologies descriptives, comme celle établie par le géographe Aurousseau en 1921 pour les villes américaines, ou G. Chabot pour les villes françaises, cette variété des spécialisations économiques et des profils sociaux des villes a été ensuite précisée par des classifications multivariées (B. Berry et J. Kasarda aux Etats-Unis, Moser et Scott en Grande Bretagne, P. Pinchemel et F. Carrière en 1964, Pumain et Saint-Julien en 1978 pour la France). Même si l'on note parfois des concentrations locales ou régionales de villes d'un même type (par exemple sur les gisements miniers ou dans les zones touristiques), la règle est l'imbrication de villes de spécialités différentes à l'intérieur des différentes régions, attestant des interdépendances qui s'établissent entre elles, donc de leur fonctionnement en système pour la production et l'échange de biens et de services. La diversité fonctionnelle est d'abord constituée par les différences de localisation et de concentration des activités économiques, qui permettent la croissance des villes en leur fournissant une base exportatrice (théorie de la base économique des villes), elle

s'accompagne de fortes inégalités sociales entre les villes (inégalités de revenu entre villes « ouvrières » et villes « bourgeoises », inégalités de qualification ou de « capital humain ») qui retentissent fortement sur les représentations collectives à un moment donné (« l'image » des villes fait ainsi aujourd'hui l'objet de manipulations conscientes, médiatisées, politisées et commercialisées). Nous verrons que les processus qui influencent la répartition des activités économiques entre les villes dépendent beaucoup de cette image, de la situation relative globale de chaque ville dans le système des villes lors d'une période donnée, même si on l'interprète aussi en partie à partir des initiatives locales qui sont faites en réponse à cette situation.

2 Une interprétation fonctionnelle de l'organisation hiérarchique

D'un point de vue statique, à un moment donné, on peut remarquer que chacun des niveaux des systèmes urbains se prête à une utilisation différente par les habitants d'un territoire, les villes étant considérées comme le lieu où se déroulent pour l'essentiel les activités habituelles dans le cadre de la journée, tandis que le système des villes fonctionne pour des échanges moins fréquents mais de plus longue portée spatiale, et qui ont aussi un fort impact, une probabilité non négligeable de contribuer à modifier le devenir de chaque ville. *On peut donner ainsi une première interprétation, naïvement fonctionnelle, de l'organisation urbaine en deux niveaux, comme si elle avait été conçue pour l'articulation des entités territoriales à des échelles géographiques différentes, pour la mise en relation de niveaux d'organisation territoriale qui n'ont pas les mêmes ordres de grandeur spatio-temporels.* Le système de peuplement permettrait ainsi de gérer la co-existence d'au moins deux niveaux spatio-temporels principaux dans les utilisations que fait une société de son territoire..

2.1 La ville au quotidien

Le premier est celui du territoire de la fréquentation quotidienne, représenté par une ville et son environnement immédiat (incluant les résidences péri-urbaines des personnes effectuant des navettes domicile-travail, la zone de chalandise des commerces urbains, ce que l'on peut englober sous l'appellation de "bassin de vie", on y trouve aussi parfois une bonne part des entreprises sous-traitantes des entreprises de la ville). Le terme de territoire prend ici une connotation moins politique et administrative, plus psychologique ou sociologique, la plupart des villes ayant perdu au cours de l'histoire leurs capacités d'édicter les règles légales ou d'exercer le pouvoir politique qui sont aujourd'hui la prérogative des Etats. On parle encore de territoire car la communauté qui habite un même noyau de peuplement garde en général la propriété physique du sol et se définit aussi par diverses formes de sentiments d'appartenance au lieu considéré. La récente loi SRU en France (2002) incite par exemple à constituer des communautés d'agglomération, instances politiques multicommunales ayant vocation à exercer des compétences multiples pour la bonne gestion de tels territoires. La forte valorisation et la compacité de la zone centrale, qui possède la meilleure accessibilité, et regroupe une proportion importante de la fonction de production, en particulier dans ses formes les plus élaborées et les plus récentes, rejetant une partie de la fonction résidentielle vers la périphérie, est la caractéristique principale de l'organisation de ces territoires du quotidien, et cela d'autant plus qu'ils sont de grande dimension. La présence d'un champ urbain, champ de polarisation autour d'un centre, s'exprime aussi dans l'existence très générale d'un gradient de densité entre le centre et la périphérie. La dilution périphérique de l'intensité du bâti et des activités, la fractalité de cette structure urbaine, résulte du compromis entre la force de la contrainte liée aux avantages de la centralité (l'accessibilité à des activités nombreuses et diverses) et la nécessaire "obligation d'espacement" ("deux constructions ne

peuvent occuper la même place" (Reymond, 1981)), doublée d'une valorisation secondaire de l'environnement non construit, "naturel", aux marges de l'agglomération et de ses avantages (Frankhauser, 1993).

L'extension spatiale de ce territoire du quotidien reste très fortement contrainte par la durée des déplacements internes, dont la vitesse est elle-même ralentie par la forte densité. On a ainsi pu constater par exemple que le temps dévolu aux navettes domicile-travail en France n'avait pratiquement pas changé entre 1970 et 1990, alors que la distance moyenne parcourue avait doublé. Le temps moyen consenti aux déplacements quotidiens dans une ville se situe aux environs d'une heure, parfois entre une et deux heures, pour l'enchaînement d'activités situées en moyenne en un peu plus de trois lieux différents dans la journée. Même si ce temps peut varier assez considérablement d'un individu à l'autre, et selon les villes (90 minutes par jour pour l'agglomération parisienne contre 50 à 60 dans des villes plus petites, comme Rennes ou Lille), il n'en constitue pas moins, dans ces ordres de grandeur, un invariant pour l'organisation des territoires de la vie quotidienne (10 à 15% du temps de travail), et représente une contrainte forte à leur extension spatiale maximale (Pumain et al., 1999). Nous verrons que la diffusion de l'automobile et les techniques de transport rapides ont permis un certain étalement des agglomérations urbaines, mais la vitesse de circulation à l'intérieur des zones urbanisées demeure bien moindre que celle des transports inter-urbains (à titre d'exemple, elle est de 16 km/h à Paris, en grande périphérie elle peut atteindre 50 km/h) si bien que l'extension de ces territoires du quotidien excède rarement aujourd'hui un rayon de 30 ou 40 kilomètres autour d'un centre. Au cours des temps historiques, le diamètre d'une heure de trajet représente l'extension- type du champ urbain maximal, cette distance-temps a toujours englobé la majeure partie des activités regroupées autour d'un centre urbain. Des agglomérations beaucoup plus étendues comme celle de Los Angeles font encore figure d'anomalies (il est vrai que le temps passé dans les transports est en moyenne plus grand aux Etats-Unis qu'en Europe).

Avec l'évolution des techniques de transport, le rayon maximal d'une ville qui était de l'ordre de 5 km avant la mécanisation s'est considérablement étendu, autorisant un accroissement de la population des plus grandes villes bien au-delà de la dizaine de millions d'habitants. La vitesse de circulation en zone urbanisée n'a cependant que faiblement progressé, elle a été multipliée environ par un facteur 5 depuis deux siècles. Cependant, la morphologie des villes tend à devenir un peu moins compacte que dans les siècles passés. Depuis la généralisation de l'usage de l'automobile, une certaine dualité morphologique s'est même instaurée, dans des villes ayant une histoire pluriséculaire, entre l'agglomération centrale, bâtie en continuité, qui conserve un fort gradient des densités (dimension fractale comprise entre 1 et 2, proche de 2), et les zones urbaines périphériques, développées avec l'usage de l'automobile, qui sont encore structurées par le champ urbain jusqu'à des distances de 40 à 100 km du centre mais avec des gradients beaucoup plus faibles (dimension fractale des surfaces bâties inférieure à 1), comme l'a mesuré M.Guérois (2003) pour l'ensemble des villes européennes.

Les fonctions principales de ce territoire du quotidien que représente chaque entité urbaine sont l'habitat et la production (de biens et de services). Ces deux fonctions majeures ne sont cependant plus, dans la plupart des cas, régulées localement. Pour l'essentiel, les déterminants de leur évolution se situent ailleurs, dans les noeuds des réseaux de pouvoir où s'effectuent les prises de décision. Dans ces réseaux, certains noeuds de pouvoir sont clairement identifiés, par une capitale politique ou administrative, par le siège d'une grande entreprise multinationale, mais le plus souvent c'est par des réseaux multiples de négociation, de concurrence ou de coopération, que se règlent les modalités des prélèvements ou des

échanges, matériels, de personnes ou d'information, qui assurent le fonctionnement des territoires du niveau d'organisation supérieur, d'échelle régionale ou nationale, voire supranationale.

2.2 Les fonctions du système des villes

C'est le système des villes qui fait fonctionner ces réseaux. Pour cet autre niveau de l'organisation territoriale, ce sont les modalités de la circulation qui règlent la trame spatiale du système de peuplement, selon une morphologie de réseau définie par l'espacement et la taille des villes. Comme le géographe Elisée Reclus l'avait remarqué dès 1895, c'est à peu près la durée d'une journée de voyage qui détermine l'espacement entre les noeuds majeurs du système, ceux qui concentrent un certain pouvoir de décision (voir par exemple les chefs-lieux de département au début du XIX^e siècle, les capitales régionales, voire les grandes métropoles européennes aujourd'hui). Cette temporalité journalière (il s'agit certes d'un ordre de grandeur, difficile à déterminer plus précisément), admise en moyenne pour des négociations relativement fréquentes, détermine une possibilité d'extension spatiale bien plus grande pour les territoires du pouvoir que pour ceux du quotidien. En effet, non seulement la durée qui règle l'espacement des noeuds dans un même territoire, mais aussi la vitesse de circulation entre ces noeuds, pour un moment donné de l'histoire des techniques de transport, sont généralement bien plus grandes que celles qui sont praticables à l'intérieur de chaque noeud (Pumain, 1993).

Il reste bien plus difficile toutefois de déterminer une extension spatiale typique pour les systèmes de villes que pour les villes. En effet, délimiter un système de villes est une opération nécessaire, mais jamais entièrement satisfaisante. Si l'on tente d'appliquer un critère souvent utilisé dans l'analyse de systèmes, qui consiste à mettre ensemble les sous-systèmes qui ont plus d'échanges entre eux qu'ils n'en ont avec l'environnement du système, on se heurte à la particularité du fonctionnement territorial des villes, qui leur confère une portée spatiale variable en fonction de leur position dans la hiérarchie urbaine : une petite ville aura en général des échanges locaux, une grande ville des échanges régionaux, tandis que les métropoles pourront avoir des échanges importants à bien plus longue distance. En fait, il est important de se demander quels types d'échanges sont à prendre en considération pour cette définition : ainsi, la carte des zones d'influence des villes françaises établie récemment par l'INSEE avec l'aide de l'IGN en exploitant les résultats de l'Inventaire communal (carte dite des « territoires vécus ») ne montre pas une très grande variabilité des portées des échanges pour les services banaux (selon le recours de la clientèle au centre de services le plus proche), même si elles tendent à s'accroître en fonction de la taille des villes. Les migrations résidentielles mettent clairement en évidence deux niveaux d'échelle des échanges migratoires pour les villes françaises : l'échelle nationale pour Paris (et moins pour quelques villes de la Côte d'Azur), l'échelle régionale pour les autres agglomérations de plus de 50 000 habitants (Pumain, Saint-Julien, 1995). Si l'on pense maintenant à des relations plus abstraites, le système de villes est souvent considéré dans le cadre d'un territoire national, car c'est à ce niveau que se définissent des règles qui assurent l'homogénéité des conditions du fonctionnement social et économique. En outre, du fait de ces « barrières » que constituent les frontières, qui ne sont pas que légales mais aussi linguistiques et culturelles, on a pu remarquer que la présence d'une frontière internationale réduisait fortement l'importance des flux d'échanges entre les villes de deux Etats contigus différents : même encore aujourd'hui en Europe, ces flux sont réduits d'un facteur cinq à six par exemple entre la Belgique et la France (Cattan et al., 1999). Enfin, si l'on pense aux relations encore plus abstraites qui seraient décisives pour comprendre et prévoir l'avenir des villes, comme celles

qui concernent les décisions d'investissement, celles qui déterminent les dynamiques urbaines relatives, on voit bien que les concurrences mises en jeu pour identifier une évolution interdépendante, caractéristique d'un système, ne sont pas définies à la même échelle pour toutes les villes : par exemple les interdépendances décisives pour les métropoles régionales françaises se jouent tantôt entre elles, tantôt avec d'autres grandes villes européennes, tandis que Paris se mesure avec Londres et d'autres « villes mondiales ». La situation géographique des villes plus petites s'évalue en général par rapport aux autres villes de la même région. (Cependant, même si ces portées moyennes peuvent être évaluées avec une certaine approximation, il est clair que des décisions de très longue portée (comme celles relatives aux délocalisations d'une entreprise multinationale japonaise ou américaine) peuvent intervenir de manière décisive dans le devenir d'une petite ville). Donc il est très difficile de concevoir un système de villes comme une entité autonome et délimitée. Il faut plutôt le voir comme un réseau inégalement connecté par des relations d'intensité plus ou moins forte, qui dans l'ensemble assurent une certaine cohérence à la co-évolution des villes qui le composent.

La dimension de ces ensembles connexes a varié dans le temps, si elle est aujourd'hui de l'ordre de grandeur d'un grand Etat, voire pour les plus grandes villes (200 000 habitants) étendue par exemple à l'Europe entière, donc de mille à quelques milliers de km, cette extension était beaucoup plus limitée jusqu'à la Révolution industrielle et bien souvent n'excédait guère quelques dizaines de km (au début du XIXe siècle, von Thünen établissait à 350 km de diamètre l'extension maximale de son « Etat isolé » définie par la portée maximale des relations urbaines de l'époque). Pour le milieu du XVIIIe siècle encore, B Lepeletier évoquait l'« impensable réseau » à propos des routes royales, vues comme un faisceau de lignes rejoignant Paris aux frontières du royaume mais pas comme un système de connections entre l'ensemble des lieux habités. C'est l'élévation de la vitesse des moyens de transports interurbains qui a permis cette gigantesque augmentation du diamètre des réseaux urbains, élargi à celui de la planète pour celui des « villes mondiales ». Déjà E. Reclus (1895) notait la régularité des distances entre les villes-étapes, accordées au pas du cheval, et la réduction de ces distances avec la modernisation des transports. Au cours des deux derniers siècles, la vitesse maximale des transports interurbains a été multipliée en moyenne par un facteur 40 (jusqu'à 100 si on considère le seul usage de l'avion), alors que celle des transports internes aux villes n'a été multipliée que par un facteur 5.

3 Les interactions qui construisent les niveaux

La théorie des systèmes complexes, qui s'applique notamment aux systèmes vivants et aux systèmes sociaux, interprète l'apparition, dans ces systèmes, de niveaux d'organisation persistants et repérables, avec leurs propriétés émergentes, à partir du jeu des interactions entre les éléments ou les sous-systèmes de niveau inférieur, le niveau ainsi constitué orientant, limitant, ou contraignant à son tour ces interactions. Entre les deux principaux niveaux hiérarchiques des systèmes urbains, celui de la ville, et celui du système des villes, se produisent cependant des interactions qui ne mettent pas seulement en jeu chacune de ces deux entités, puisque par exemple des acteurs urbains peuvent intervenir simultanément à toutes les échelles, sur tout ou partie de chaque système : les hiérarchies urbaines font partie de ces modèles de « hiérarchies emmêlées », par opposition aux « hiérarchies inclusives » des organismes biologiques (Pumain, 2005). C'est dans un souci de simplification que l'on peut identifier les interactions qui participent principalement à la constitution de chacun des deux niveaux d'organisation, sachant que la structure d'ensemble s'apparente sans doute davantage à celle de réseaux organisés en « petits mondes » (Watts et Strogatz, 2003). En géographe, nous nous intéresserons plus particulièrement aux interactions qui construisent des structures

spatiales. Nous en avons représenté un certain nombre sur la figure 2, en sélectionnant celles qui nous paraissent les plus importantes. Il va de soi que pour chaque aspect de la structure analysée, certaines interactions sont plus déterminantes que d'autres, et ce sont ces relations explicatives qui ont été formalisées dans des modèles urbains.

3.1 Les interactions constitutives des formes des villes

Plusieurs interprétations ont été proposées par exemple pour expliquer la structure du champ urbain, en auréoles d'intensité décroissante à partir du centre, selon un fort gradient centre-périphérie. L'économiste W. Alonso (1964) a ainsi démontré comment cette structure pouvait se former, à l'échelle de la ville, à partir de l'arbitrage effectué au niveau individuel des ménages entre leurs dépenses budgétaires pour le logement et celles pour le transport. On retrouve aussi des interprétations voisines de celles du modèle proposé par von Thünen pour les utilisations agricoles du sol. La sélection des activités en fonction de leur proximité au centre, plus accessible, s'effectue selon la rente différentielle (le profit de la location ou de la propriété du sol) qu'offrent des occupations du sol de nature variée : les services à haute valeur ajoutée (banques, services financiers, certains services aux entreprises, audit ou consultance stratégique), qui peuvent payer des loyers élevés, se situent plus près du centre, les activités commerciales de haut niveau viennent ensuite, tandis que les résidences, et plus encore l'industrie consommatrice d'espace mais aujourd'hui moins profitable (et aussi génératrice de nuisances) s'établit en périphérie. Les interactions du niveau interindividuel qui engendrent cette structure centre-périphérie sont ici principalement la concurrence pour l'occupation de l'espace entre des activités ou des occupations du sol inégalement « rentables ». C'est ainsi que l'on explique la formation, dès le début du XIX^e siècle dans les plus grandes villes, du « cratère central » de la courbe de distribution des densités résidentielles en fonction de la distance au centre, les populations, même aisées, étant victorieusement concurrencées par des activités économiques pour l'occupation des quartiers centraux (voir par exemple les banques dans le 8^e arrondissement à Paris).

Mais cette dynamique est celle d'un système complexe : *les mêmes types d'interaction sont susceptibles d'engendrer des formes différentes lorsque d'autres interactions ou contraintes interfèrent*. Il peut s'agir par exemple, au même niveau de la ville, de contraintes exercées par les qualités du site, qui vont écarter localement la surface de prix de sa configuration théorique, par exemple en valorisant un coteau, ou le bord d'un fleuve, ou un lieu de plus forte accessibilité (carrefour), ou les abords d'un élément de patrimoine (ou d'une école prestigieuse). Certaines de ces contraintes, généralement issues d'un autre niveau que celui de la ville, peuvent modifier profondément la configuration : ainsi explique-t-on que dans les villes d'Amérique du nord, des conditions légales qui facilitent les transactions immobilières (et expliquent un taux de mobilité résidentielle en moyenne deux fois supérieur à ceux de l'Europe ou du Japon), jointes à une valorisation culturelle de la banlieue (valeurs collectives favorables à l'espace rural que l'on retrouve aussi au Royaume-Uni), modifient la surface de prix, et réduisent considérablement son gradient, sans toutefois l'inverser complètement. Ces « données » institutionnelles ou ces « valeurs » collectives représentent bien une interaction entre le niveau des acteurs urbains et un niveau plus englobant, correspondant ici à un Etat, une société tout entière.

Une fois formée, la ville exerce un effet collectif, dit effet de contexte, ou contrainte, sur le niveau des acteurs urbains. Cette « contrainte » n'a pas qu'une action régulatrice négative ou limitatrice : par exemple, l'économie urbaine définit la ville comme un lieu qui apporte aux entreprises un type particulier d'économies externes (en plus des économies dites d'échelles,

liées à la grande taille des entreprises qui produisent à meilleur coût par unité produite que les petites). Ces économies externes propres au milieu urbain sont appelées économies d'agglomération, elles représentent des profits non liés directement à l'activité de la firme mais qui résultent de sa localisation, à proximité d'autres firmes d'une part (ce qui peut faciliter les relations de sous-traitance et les synergies entre entreprises du même secteur), à proximité d'autre part d'un grand marché qui représente un débouché immédiat pour sa production, et d'un marché du travail susceptible d'aider au recrutement d'une main-d'œuvre qualifiée (capital humain), ainsi que des économies dites d'urbanisation, qui consistent dans l'utilisation indivise par les entreprises d'équipements en partie financés par la puissance publique (aéroports, palais des congrès, universités, équipements culturels, gares etc.). La qualité de la vie urbaine, l'ambiance urbaine, voire l'image des villes, pourraient entrer dans cette catégorie des « économies d'agglomération » qui représentent pour chaque firme l'effet bénéfique qu'elle retire de sa localisation dans une ville particulière. De plus en plus, on s'intéresse à propos des entreprises aux effets dits « d'apprentissage » qui renforcent leur capacité d'innovation du fait des échanges qu'elles peuvent avoir de par leur proximité avec d'autres acteurs urbains, et qui constitueraient les atouts décisifs des « milieux innovateurs ».

A cet égard, un autre processus prend forme à partir des interactions qui se créent dans les villes, et se prolonge semble-t-il indéfiniment depuis que les villes existent. Il s'agit du processus de division sociale du travail, qui fait des villes les acteurs principaux du changement social, selon les théories sociologiques de la ville. C'est aussi ce qu'attestent les travaux des historiens qui montrent l'émergence, sinon continue, du moins tendanciellement croissante, de nouvelles professions et catégories sociales, de nouveaux types d'individus, l'invention de nouveaux styles de vie, ce mouvement de création étant caractéristique des populations urbaines, par opposition à celles des campagnes. D'où vient cette créativité, qui oblige à inventer de nouvelles catégories statistiques pour cerner la nouvelle diversité sociale (penser par exemple à l'apparition des techniciens dans la nomenclature des PCS, ou des familles monoparentales) ? Une première explication consisterait dans l'effet en retour de l'entité ville elle-même : si la taille d'une ville comporte n personnes, le nombre des interactions que ces personnes sont susceptibles d'avoir entre elles varie comme n^2 . Or bien souvent la nouveauté naît de la rencontre, du dialogue, de l'échange. C'est en ce sens que P. Claval dans « la logique des villes » (1982) parle des villes comme des lieux qui « maximisent l'interaction sociale ». Mais une seconde explication peut aussi être recherchée dans la mise en réseau des villes, dans ce niveau supérieur qu'est le système des villes, qui représente une contrainte pour chaque ville et pour les acteurs qu'elle contient. A ce niveau, l'incitation au changement provient de la concurrence entre les villes, de cette compétition dans laquelle elles sont engagées pour capter les bénéfices des innovations et de la croissance (économique, démographique) qui leur est associée (figure 2). Il nous faut maintenant préciser quelles sont les interactions qui construisent ce niveau.

3.2. Les interactions constitutives des systèmes de villes

La co-évolution des villes appartenant à un même système recouvre un ensemble de processus qui décrivent les interdépendances de leurs évolutions, quantitatives et qualitatives. On dispose ici de modèles qui mettent clairement en relation les interactions qui se produisent entre les villes et les structures qui en résultent au niveau des réseaux urbains.

3.2.1 Un processus de croissance distribuée

La taille des villes, mesurée par leur population, est un indicateur synthétique de leur importance, qui doit cependant être complété par d'autres mesures lorsqu'on étend la comparaison à des villes de pays d'inégal développement économique. La mesure de la population d'une ville est délicate en raison des difficultés de la délimitation des entités urbaines, qui s'étendent spatialement en même temps que leur nombre d'habitants s'accroît. Les statistiques officielles ne sont pas toujours comparables et l'harmonisation des données est un préalable indispensable à toute analyse de l'évolution dans le temps et dans l'espace. Des bases de données comparables ont permis d'établir l'universalité de la forme statistique de la distribution de la taille des établissements humains, dans toutes les régions du monde et au cours des temps historiques (Moriconi-Ebrard, 1993, Bairoch et al., 1988, de Vries, 1984, Fletscher, 1986). La pente de la loi rang-taille, interprétée comme un indice de l'inégalité de la taille des villes, varie entre des limites assez étroites, elle tend à être plus élevée dans les pays de peuplement récent (qui ont installé des villes dans des pays dépourvus de peuplement rural, ou n'ayant que des populations peu denses, et à une époque où les moyens de transport disponibles étaient beaucoup plus rapides que la marche ou le transport animal). Il semble aussi que les inégalités de taille des villes se soient accrues au cours des deux derniers siècles dans plusieurs régions du monde.

Le statisticien Gibrat (1933) a démontré qu'une distribution lognormale de la taille des villes pouvait s'expliquer par un processus de croissance de la population des villes, de type exponentiel, dans lequel les taux de croissance (variations relatives de la population des villes) sont des variables aléatoires indépendantes de la taille des villes et d'une période sur l'autre. Un autre modèle de croissance, qui pourrait s'interpréter comme une version déterministe du processus décrit par Gibrat, mais qui aboutit à une distribution du type fonction puissance, a été proposé par H. Simon (1955). Le modèle de Gibrat a été testé avec succès sur de nombreux pays et pour différentes époques (Robson, 1973, Pumain, 1982, Guérin-Pace, 1993, Moriconi-Ebrard, 1993). Un autre exemple est celui des villes européennes, qui se sont accrues considérablement en nombre (moins de 1600 villes de plus de 10 000 habitants, en 1800, plus de 5000 en 2000) et qui ont aussi beaucoup augmenté leur population depuis deux siècles (de 22 à 380 millions), tandis que le système qu'elles forment gardait sensiblement la même configuration spatiale. Cette stabilité morphologique s'explique parce que le système des villes s'est développé dans toutes ses parties (Bretagnolle, 1999, Pumain et al., 1999, Bretagnolle et al., 2000). Il s'agit d'un processus de croissance distribuée (ou répartie) qui peut être interprété comme le résultat de la compétition entre les villes pour l'attraction de la population, et qui dépend donc de leurs interactions (notamment en termes d'adoption des innovations ou d'ajustement aux changements). En ce sens, la propriété de *différenciation hiérarchique*, caractéristique macro-géographique des systèmes de villes, peut donc être interprétée comme une propriété émergente qui résulte des interactions entre les villes à une échelle méso-géographique.

Dans le modèle statistique de Gibrat, il est vrai que les interactions entre les villes restent implicites : on suppose que c'est parce qu'elles sont liées entre elles par toutes sortes de réseaux et interdépendantes qu'elles croissent en moyenne sur des durées longues à la même vitesse, avec le même taux (Pumain, 1982). On s'emploie aujourd'hui à donner des versions plus complètes de ce modèle de croissance distribuée, par exemple en simulant la construction de réseaux de relations entre les villes selon des règles simples dont l'effet est analogue à celles de Gibrat, mais qui permettent une spatialisation de la croissance. Toutefois, les modèles proposés en économie par Cordoba (2003) ou Gabaix et Ioannides (2003) pour expliciter les interactions génératrices du modèle de Gibrat sont certes aptes à reproduire une distribution de tailles de villes conforme aux observations (comme bien d'autres modèles

d'ailleurs), mais leurs hypothèses relatives aux interactions n'ont pas été testées empiriquement.. La littérature économique achoppe sur le problème de la structuration des systèmes de villes, à tel point que Fujita, Krugman et Venables (1999) consacrent un chapitre entier de leur ouvrage sur l'économie régionale et urbaine à « une digression empirique : la taille des villes » ! Ils reprennent une proposition de Krugman suggérant d'employer une analogie entre réseaux urbains et réseaux hydrographiques, oubliant de citer les géographes Chorley et Haggett qui se livraient déjà à cet exercice en 1967. Surtout, Krugman suggère d'appliquer la théorie physique de la percolation pour modéliser l'émergence des hiérarchies urbaines comme résultant d'un processus de diffusion, négligeant le fait que les processus de diffusion urbains sont souvent « hiérarchiques », en ce sens que l'adoption des innovations « saute » souvent d'une grande ville à une autre grande, avant d'atteindre les petites plus proches (Pred, 1977), ce qui ne correspond en rien à un processus de diffusion passive de proche en proche. Les modèles dits d'indépendance d'échelle (*scale free networks*), sont aussi employés par des sociologues ou des analystes de grands réseaux comme Internet, qui y découvrent des « petits mondes » (en fait des structures hiérarchiques).

3.2.2 Adoption des innovations et changement structurel

Car on a aussi démontré que des transformations plus qualitatives des villes, par exemples celles de leur profil d'activité (spécialisations économiques) ou de leur composition sociale, suivent des modalités de co-évolution semblables à celles de leur croissance quantitative. Ainsi, la figure 3, établie par F. Paulus (2004), représente comment les principales aires urbaines françaises ont changé de position, entre 1962 et 1990, dans la structure d'activité économique (représentée par les deux premiers axes d'une analyse en composantes principales des profils d'activité économique urbains observés aux cinq dates des recensements). Chaque ville apparaît sur ce graphique avec cinq points qui sont reliés par une flèche pour faire apparaître une trajectoire dans l'espace défini par la structure d'activités. Ce qu'il y a de remarquable dans cette figure est le très grand parallélisme de toutes ces trajectoires. Cela exprime que la structure d'activité des villes a évolué de manière similaire, chacune perdant de l'emploi industriel au profit d'activités tertiaires, tandis que, dans ce secteur, des activités nouvelles, comme les services aux entreprises, se substituaient à des activités plus anciennes (comme le commerce de détail). Paris, qui était « en avance » sur les autres villes dans le sens de la transformation générale, demeure dans cette position relative à la fin de la période. Ainsi, ces transformations qui touchent presque simultanément toutes les villes, et qui traduisent la diffusion spatiale des innovations, très rapide aujourd'hui, expliquent la persistance de ce que l'on appelle la structure économique du système des villes, c'est-à-dire des principaux facteurs qui différencient les profils d'activité des villes : les inégalités initiales se trouvent inchangées, si toutes les villes connaissent les mêmes modifications. Ces modalités du changement, à l'échelle du système des villes, peuvent s'expliquer par des interactions entre les villes, qui conduisent à cette co-évolution.

Ces interactions s'effectuent dans un contexte de concurrence socio-spatiale entre les villes. Pour continuer à subsister, et donc à garder leurs parts de marché (influence territoriale, positions-clés dans des réseaux), les villes (ou plus précisément les acteurs présents dans les villes, et qui souhaitent y valoriser leurs investissements) sont contraintes de s'adapter au changement, voire même à l'anticiper. Ainsi, par imitation des innovations apparues dans d'autres villes, ou par leur propre participation à l'innovation, les villes se transforment toutes à peu près de la même façon. On peut citer pour la période des Trente glorieuses de multiples innovations comme le développement des zones industrielles dans les années soixante, les aménagements piétonniers et commerciaux des centres villes dans les années 1970, parallèles

au développement des centres commerciaux en périphérie, la construction de palais des congrès, de cités administratives, avant l'essor des quartiers résidentiels jusque dans les communes rurales de leur périphérie. Mais partout aussi se diffusent la baisse des emplois ouvriers, la montée de populations plus qualifiées, le progrès des services de santé et d'éducation. L'observation détaillée du changement montre que celui-ci ne procède pas d'un bloc, mais se réalise de manière incrémentale, par ajustements successifs : à un recensement d'intervalle, certaines villes peuvent apparaître en avance ou en retard sur le processus général. Mais la plupart de ces fluctuations ne persistent pas à la période suivante et n'ont donc pas d'effet sur la position relative de la ville dans le système.

C'est seulement sur des durées longues, et à des moments particuliers, que la structure du système des villes, entretenue par ces interactions, peut s'en trouver transformée. Ainsi, certains cycles d'innovation apportent avec eux des spécialisations nouvelles, car les activités qu'ils comprennent ne sont pas susceptibles de se diffuser partout. C'était le cas lors de la première révolution industrielle, pendant laquelle des activités comme l'extraction minière et la sidérurgie ont prospéré, faisant émerger ou croître de manière tout à fait exceptionnelle des villes du nord de la France, dont beaucoup n'étaient auparavant que de simples villages, et qui en quelques décennies ont regroupé plusieurs dizaines de milliers d'habitants (Lens-Liévin, Denain, Béthune, Valenciennes). Pendant le même siècle ont émergé les spécialisations des villes touristiques comme Nice ou Cannes qui ont également contribué à beaucoup les développer. Des spécialisations aussi marquées mettent beaucoup de temps à se résorber. Ainsi, un siècle après la Révolution industrielle, les villes minières, mais aussi textiles et sidérurgiques, sont encore dans les années 1950 les plus spécialisées parmi les villes françaises, avec des proportions très élevées de populations ouvrières, des revenus bas (même si les salaires peuvent être élevés, par exemple dans les villes de la métallurgie comme Dunkerque, mais les revenus du patrimoine sont bas), et un sous-équipement en services qui ne s'atténue que très progressivement, malgré un « rattrapage » certain au cours des quarante années suivantes. Comme à l'opposé certaines villes du sud et de l'ouest, Montpellier ou Rennes, ainsi que les villes touristiques, avaient reçu très peu d'investissements durant la Révolution industrielle, mais, en tant que villes bourgeoises et universitaires, s'étaient révélées attractives pour les capitaux high tech des décennies 1970 et suivantes, cette première dimension de la structure du système des villes françaises a persisté, sa relation avec la croissance et l'image de marque des villes s'étant toutefois inversée entre le XIXe et le XXe siècle.

Ainsi, ce n'est pas tant le pouvoir de séduction intellectuelle des théories de l'auto-organisation qui nous a décidé à reformuler dans leurs termes une interprétation du devenir des systèmes urbains, mais c'est bien la ressemblance des processus dynamiques qu'elles décrivent avec ce que nous avons pu observer du changement urbain (Pumain & Saint-Julien, 1978 ; Pumain, 1982) qui nous a conduit à les utiliser. Il s'agit d'élaborer les modèles nécessaires à des expériences de simulation, susceptibles de valider ce que nous croyons avoir compris de l'évolution de ces systèmes, et éventuellement de nous permettre des prévisions (Pumain et al., 1989, Sanders, 1992, Pumain, 2006).

4 Les modèles de systèmes complexes pour la morphogenèse urbaine

Quoique la conception d'un "réseau de villes" ait permis de faire de grands progrès dans l'analyse des déterminants de l'évolution des villes, de montrer leurs fortes interdépendances, et une quasi autonomie du système dans sa tendance à s'auto-perpétuer dans son organisation hiérarchique et spatiale, par-delà les multiples transformations des économies, des modes et

des niveaux de vie et des conditions de transport et d'habitat, cette conception a l'inconvénient de considérer les villes comme autant d'îles émergeant d'un océan indifférencié et de constituer le "système des villes" en un archipel urbain isolé du reste du territoire (Veltz, 1996).

4.1 Les villes, objets spatiaux

Les théories des systèmes complexes invitent à repenser le tout autrement aujourd'hui. Une autre façon de penser l'espace consiste à en faire une propriété intrinsèque des objets, qui se construit à partir des interactions qu'ils entretiennent avec leur environnement et d'autres objets. Le concept de production de l'espace de H. Lefevre (1974) participe déjà de cette idée. P. et G. Pinchemel (1988) distinguent deux types d'interaction selon qu'elles relèvent de *l'artificialisation*, la transformation du milieu naturel par les sociétés, ou de la *spatialisation* ou aménagement des territoires en fonction des règles de l'organisation spatiale des sociétés. Étudiant le premier processus à partir de données archéologiques, S. Van der Leeuw (1990) voit une importante rétroaction positive dans l'interaction entre les sociétés et le milieu et analyse cette rétroaction à quatre niveaux emboîtés d'échelles spatiale, de la maison à l'habitat. Il montre comment la réitération cognitive, en spécifiant les catégories, amène une substantivation matérielle de la conception de l'espace.

Petit à petit émerge une conception de l'espace qui n'est ni un espace support, ni une trame d'objets, ni même une séparation d'importance variable selon la portée des interactions, mais qui intègre le temps, (au sens de l'intégrale mathématique) en permettant sa matérialisation par accumulation dans un objet. C'est ce type de conception que défend H. Reymond (1981) quand il évoque la constitution des objets géographiques à partir de "l'obligation d'espacement", du nécessaire déploiement dans l'espace des sociétés humaines. Selon lui, "l'acte géographique distribue ou redistribue des espacements en utilisant consciemment ou inconsciemment les libertés de dispositions que recèle le pouvoir des surfaces. Ce faisant il construit des objets géographiques" (p. 221). S'agissant des villes : "L'organisation des espacements à partir des points centraux porte en elle-même la nécessité de la hiérarchie" (p. 203).

Un certain nombre de modèles, encore très théoriques, ont exploré diverses voies pour simuler la construction d'objets géographiques en tant qu'entités spatiales à partir d'interactions élémentaires. Amson (1972) utilise un modèle de plasma pour représenter la croissance urbaine, Couclelis (1985) s'inspire des automates cellulaires, Zhang (1988) de la théorie des équations de diffusion... Dendrinis (1990) montre comment simuler par un modèle dynamique l'hétérogénéité de l'espace, à partir des interactions, sans la poser a priori. Tous ces modèles théoriques invitent à réfléchir sur la forme des interactions qui fondent la genèse et l'évolution des objets urbains. Ils doivent être transcrits, si cela est possible, en "modèles concrets", et expérimentés, afin de décider s'ils peuvent constituer une meilleure description de la dynamique urbaine. Il n'est par exemple pas indifférent de constater, comme Dendrinis et Mullaly (1985), qu'une dynamique chaotique nécessite des valeurs de paramètres tout à fait irréalistes aux échelles de temps et d'espace considérées dans un modèle d'interactions inter-urbaines. Cette conformité aux observations ne suffit pas à valider le modèle, du moins rassure-t-elle un peu sur son aptitude à se rapprocher de l'expérience plutôt que d'une interprétation "à la mode".

4.2 Villes et objets fractals

La réunification de la conception des objets-villes, compris à la fois comme une forme particulière d'utilisation du sol, et comme des amas différenciés de constructions, d'activités,

et de population sur un territoire, peut-elle venir d'une réflexion sur la structure fractale des villes, prises dans leur matérialité (Frankhauser 1993) ? L'homothétie interne des structures des systèmes géographiques que Philbrick (1957) interprétait comme une alternance d'espaces "homogènes" et d'espaces "polarisés" hiérarchisés, a été décrite par la théorie des lieux centraux comme une configuration emboîtée, assez rigide, de lieux nodaux hiérarchisés par leur dimension, leur espacement et la portée de leurs interactions. Plutôt que de considérer des "déformations" de cette structure cellulaire en fonction des variations de la densité (Isard), ou de divers accidents du milieu, les fractales permettent de poser d'emblée une structure munie de hiérarchie mais non systématiquement emboîtée, admettant des variations stochastiques. La description fractale est cependant insuffisante, car l'objet fractal, qui a des homomorphismes triviaux entre niveaux, n'est selon Varela (1983 : 91) qu'une "pâle illustration de cette forme paradoxale que les systèmes naturels donnent à voir, avec l'existence de boucles entre les différents niveaux, qui brouillent, enchevêtrent la hiérarchie". Là encore, c'est une investigation plus complète des interactions qui peut enrichir une conception, en cours d'élaboration, de la construction spatio-temporelle des objets géographiques, et de la nécessaire intervention des structures hiérarchiques entrecroisées dans la genèse de ces systèmes (Pumain, 2006). La production de formes à partir des interactions spatiales, l'identification de constructions spatio-temporelles plus ou moins stables, et donc repérables, rejoint la réflexion de R. Brunet (1980) sur les chorèmes. La question est ici moins de savoir si les chorèmes sont le résultat de "stratégies conscientes" ou de "choix hasardeux entérinés" (Brunet, 1980 : 264), puisque les stratégies réelles incorporent toujours une part d'incertitude, mais bien plutôt de comprendre comment le résultat observé des stratégies, avec ou sans finalité consciente, se maintient dans une forme particulière, se développe selon une certaine trajectoire, et à quelle condition cette dynamique perdure. Cela suppose d'aller au-delà du constat de la forme, de mesurer les échelles de temps et d'espace que ces formes incorporent, et les paramètres d'ordre qui sont à la base de leur apparition.

4.3 De l'espace-support à l'espace relationnel et conformant

Parmi les modèles urbains dynamiques, la plupart se réfèrent, implicitement le plus souvent, à la conception d'un espace-support. Dans le modèle urbain proie-prédateur de Dendrinos et Mullaly (1985), toute considération d'espace au sens de la distance est exclue, ce modèle de concurrence interurbaine ne considérant que la dynamique relative des poids démographiques et des revenus des villes. Le plus souvent, dans les modèles de dynamique intra-urbaine, le découpage spatial est supposé fixé par avance et ne varie pas au cours du temps : la dynamique concerne la croissance relative des zones, qui peuvent être inégalement dotées en ressources, avec ou sans prise en considération explicite des échanges de population et d'activités entre les zones. Dans ces modèles, c'est un simple indice de zone qui relie une quantité à une localisation, que la dynamique soit du type proie-prédateur entre le centre et la périphérie (Dendrinos & Haag, 1983), ou qu'elle résulte d'une mesure de l'attractivité relative des lieux en fonction d'interactions supposées décroître exponentiellement avec la distance. La mesure de distance inter-zone est alors soit une distance physique (Allen et al., 1985), soit une distance-temps calculée sur un réseau (Engelen et al., 1983), soit une distance-coût (Wilson, 1981).

Les modèles urbains dynamiques utilisant des équations différentielles cumulent ainsi deux difficultés : d'une part, ils se réfèrent à un simple espace support pour mesurer les interactions entre les villes, et d'autre part ils ne représentent qu'un seul type d'interaction, une fonction puissance ou exponentielle d'une distance, parfois modulée d'un paramètre qui en pondère de manière variable l'effet dissuasif selon le type de population concernée (Pumain, 1997).

Il faut cependant pouvoir prendre en compte dans les modèles une conception relative de l'espace urbain, qui décrive correctement le processus que l'on a appelé "convergence", "contraction", ou "compression" espace-temps. L'idée en est apparue depuis très longtemps, que ce soit sous la forme descriptive de "la modification des rapports entre les parties de la terre par l'accélération des vitesses nécessaires pour franchir les mêmes distances" chez J. Bruhnes (1910), ou plus formalisée du processus de "réorganisation spatiale" décrit par Janelle (1969). La dialectique espace-temps des villes est inséparable de l'état des techniques de communication. La technique permet la réduction du couple temps-espace, grâce à la vitesse des moyens de communication. H. Pirenne (1939) avait signalé l'importance de l'amélioration des transports dans la reprise de développement des villes en Europe au Moyen Âge. A. Anderson (1986) reprend cette idée et fait ainsi état de quatre révolutions "logistiques" (c'est-à-dire touchant aux techniques de déplacement des marchandises, du capital, des personnes et de l'information) qui ont eu des effets importants en termes de développement urbain et de sélection parmi les villes entre l'an 1000 et l'an 2000 de notre ère.

Les conséquences de cette loi d'accroissement de la vitesse des interactions sur la forme des villes et sur la structure des systèmes urbains sont bien connues. Même si l'accroissement historique de la vitesse des communications n'a pas été linéaire, ni homogène, il est monotone, c'est-à-dire qu'il va toujours dans le même sens. Ses effets fortement concentrateurs sur la structure du peuplement ont été maintes fois démontrés. A partir d'un semis de villages séparés par des distances faibles, définies par le rayon d'action des techniques les plus élémentaires, la sélection des villes, points de concentration du peuplement, s'est effectuée en fonction de, la vitesse du déplacement, à pied, à cheval, en diligence, en chemin de fer, en voiture, en avion ou en TGV. Par court-circuitage des petits centres, la concentration relative de la population dans les plus grands centres augmente, et la hiérarchie du peuplement est simplifiée par le bas : ce sont d'abord les plus petits villages qui disparaissent, les plus gros résistent mieux, et puis les petites villes, dont on a montré qu'elles avaient relativement diminué d'importance, tout en gagnant un peu de population, mais en s'accroissant bien moins vite que les grandes (Pumain, 1982 ; Guérin-Pace, 1993, Bretagnolle, 1999). Leur déclin peut être momentanément dissimulé parce qu'un certain nombre d'entre elles sont dans la mouvance directe d'une plus grande ville qui s'étale et les incorpore à son système d'habitat. L'accroissement de la pente de la distribution de Pareto qui ajuste les distributions de taille de villes, particulièrement sensible dans de nombreux pays depuis près de deux siècles (Guérin-Pace, 1993), pourrait s'expliquer, non pas tant par la croissance démesurée des grandes villes, que par la contraction de l'espace du système de peuplement qui fait disparaître les plus petits centres (Bretagnolle 1999 et 2003).

L'espace géographique n'a donc rien d'un contenant immuable. Son progressif rétrécissement, mesuré à l'aune de la vitesse de déplacement, pourrait être pris en considération dans les modèles qui simulent le devenir d'un système de lieux centraux, autrement que par le remplissage des lieux et par leur hiérarchisation accrue comme dans le modèle d'Allen et Sanglier (1978), ou bien par un simple accroissement du niveau de mobilité de la population comme c'est par exemple le cas dans le modèle de migration de Weidlich & Haag (1988). Des recherches en cours, notamment avec le modèle SIMPOP (laboratoire Géographie-cités, <http://simpop.parisgeo.cnrs.fr>), emploient des systèmes multi-agents pour simuler cette évolution des interactions sociales qui construisent un espace géographique de plus en plus intensément connecté par des relations de portée croissante.

Ce type de modélisation informatique permet de représenter des interactions de différent type, selon qu'elles opèrent en fonction de la proximité, ou bien qu'elles sont contraintes à se

déployer à l'intérieur de limites politiques ou administratives, ou bien encore selon qu'elles utilisent des réseaux d'interdépendance économique fonctionnels en défiant les règles de la proximité et des frontières. Ces interactions spatiales différenciées ont toutes des portées qui varient dans le temps, selon des évolutions variables, accentuées par les cycles d'innovation qui transforment les moyens de communication.

Des modèles dynamiques ainsi construits permettent de tester des hypothèses quant au pouvoir conformant des formes créées par les interactions dans l'espace-temps. Quelle est la part de l'« enchaînement historique » (Pumain et al., 2006) dans les formes urbaines différenciées, jusqu'à quel point des formes différentes peuvent-elles se trouver engendrées par des processus semblables, en quelque sorte, quel est le degré de liberté d'une forme urbaine, locale (une ville) ou continentale (un système de villes) par rapport aux processus uniformisants de la mondialisation, telle est la question qui fait tout l'enjeu de ces modélisations.

Références

- Allen P. Sanglier M. 1979, A dynamic model of growth in a central place system, *Geographical Analysis*, 10, 256-272.
- Anderson C. Hellervik A. Hagson A. Tornberg J. 2003, The urban economy as a scale-free network. *ArXiv:cond-mat/0303535* v2.
- Auerbach F., 1913: Das Gesetz der Bevölkerungskonzentration. *Petermans Mitteilungen*, 59, 1 : 74-76.
- Axtell R.L. 2001, Zipf Distribution of U.S. Firm Sizes. *Science*, 293 (5536), 1818-1820.
- Bairoch P. 1985, *De Jéricho à Mexico*. Paris, Gallimard.
- Bairoch P., Batou J., Chèvre P., 1988: *La population des villes européennes. Banque de données et analyse sommaire des résultats: 800-1850*. Centre d'Histoire Economique International de l'Université de Genève, 339 p.
- Barbut M. 1998, Une introduction élémentaire à l'analyse mathématique des inégalités. *Mathématiques, Informatique et Sciences humaines*, 142, 27-42.
- Batty M. Longley P. 1994, *Fractal cities*. London, Academic Press.
- Batty M. Xie Y. 1996, Preliminary evidence for a theory of the fractal city. *Environment and Planning A*, 28, 1745-1762.
- Beckmann M.J. 1958, City hierarchies and the distribution of city sizes. *Economic Development and Cultural Change*, 6, 243-248.
- Berry B.J.L. 1964, Cities as systems within systems of cities. *Papers of the Regional Science Association*.
- Bretagnolle A. 1999, *Espace-temps et système de villes : effets de l'augmentation de la vitesse de circulation sur l'espacement et l'étalement des villes*. Université Paris I, thèse de doctorat.
- Bretagnolle A., Mathian H., Pumain D., Rozenblat C., 2000 : Long-term dynamics of European towns and cities: towards a spatial model of urban growth. *Cybergeo*, 131, 17 p.
- Bretagnolle A. Paulus F. Pumain D. 2002, Time and space scales for measuring urban growth. *Cybergeo*, 219, 12 p.(<http://www.cybergeo.presse.fr>)
- Bretagnolle A. 2003, Vitesse des transports et sélection hiérarchique entre les villes françaises. In Pumain D. Mattei M.-F. (coord.) *Données Urbaines 4*, 309-322.
- Bretagnolle A. Robic M.-C. 2005, Révolutions des techniques de communication et représentations du monde. Au risque de l'expérimentation. *L'Information Géographique*, 3.
- Bura S. Guérin-Pace F. Mathian H. Pumain D. Sanders L. 1996, Multi-agent systems and the dynamics of a settlement system. *Geographical Analysis*, 2, 161-178.

- Cattan N. Pumain D. Rozenblat C. Saint-Julien T., 1999, *Le système des villes européennes*, Paris: Anthropos, coll. Villes (1^{ère} édition 1994), 201 p.
- Claval P. 1982, *La logique des villes*. Paris, LITEC.
- Cordoba J.C. 2003, On the Distribution of City Sizes. Rice University, 31 p.
- Christaller W. 1933, *Die Zentralen Orte in Süddeutschland*. Iena, Fischer.
- Dendrinos D. Mullaly H. 1985, *Urban evolution*. Oxford University Press.
- Fletscher R., (1986) Settlement in Archaeology: world-wide comparison, *World Archaeology*, 18, 1 : 59-83.
- Frankauser P. 1993, *La fractalité des structures urbaines*. Paris, Anthropos.
- Fujita M. Krugman P. Venables A. 1999, *The spatial economy: cities, regions and the international trade*. Cambridge, MIT Press.
- Gabaix X; Ioannides Y.M. 2004, The evolution of City size distributions, in: *Handbook of Regional and Urban Economics*, volume 4, Chapter 53, V. Henderson and J-F. Thisse eds, North-Holland, p.2341-2378.
- Gibbs J.P. 1963, The evolution of population concentration. *Economic Geography*, 39, 119-129.
- Gibrat R. 1931, *Les inégalités économiques*. Paris, Sirey.
- Geyer H.S. (ed.) 2002, *International Handbook of Urban Systems*, Cheltenham, Edward Elgar.
- Guérin-Pace F. 1993, *Deux siècles de croissance urbaine*. Paris, Anthropos.
- Guérois M. 2003, Les villes d'Europe vues du ciel, in Pumain D. Mattei M.-F. (dir.) *Données urbaines* 4, Paris, Anthropos, 411-425.
- Haag G., Münz M., Pumain D., Sanders L., Saint-Julien T., 1992, Inter-urban Migration and the Dynamics of a system of cities. Part 1: the Stochastic framework with an application to the French urban system. *Environment and Planning*, 24, 2, 181-188.
- Jefferson M. 1939, The law of the primate city. *Geographical Review*, 29, 226-232.
- Kohl J.G. 1841, *Der Verkehr und die Ansiedlungen der Menschen in ihrer Abhängigkeit des Gestaltung der Erdoberfläche*. Dresden/Leipzig, Arnold.
- Lalanne L. 1863, Essai d'une théorie des réseaux de chemins de fer, fondée sur l'observation des faits et sur les lois primordiales qui président au groupement des populations. *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t.57, 2^e semestre, 206-210.
- Lalanne L. 1875, Note sur les faits d'alignements naturels dans leurs relations avec les lois qui président à la répartition des centres de population à la surface du globe. Paris, *Comptes-rendus du 2^e Congrès International de Géographie*, E. Martinet, vol.2, 45-55 (repris dans Pinchemel P. Robic M.-C., Tissier J.-L. 1984, *Deux siècles de géographie française*, Paris, CTHS, Mémoire de la section de géographie, 13, 57-64.)
- Lotka A.J. 1924, *Elements of physical biology*. Baltimore.
- Lotka, A.J. 1941, The law of urban concentration. *Science*, 94, 164.
- Marchetti C. 1991, Voyager dans le temps. *Futuribles*, 156, 19-29.
- Moriconi-Ebrard F. 1993, *L'urbanisation du Monde depuis 1950*. Paris, Anthropos.
- Muller J.C. 1983, La cartographie des espaces fonctionnels, *L'Espace Géographique*, 2, 142-152.
- Page M. Parisel C. Pumain D. Sanders L. 2001, Knowledge-based simulation of settlement systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, 25, 2, 167-193.
- Paulus F. Pumain D. 2000, Trajectoires de villes dans le système urbain, in Mattei M.-F., Pumain D. (dir.) *Données urbaines*, 3, 363-372.
- Paulus F. Pumain D. 2002 Répartition de la croissance dans le système des villes françaises. *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, 1, 35-48.
- Paulus F. 2004, *Coévolution dans les systèmes de villes : croissance et spécialisation des aires urbaines françaises de 1950 à 2000*. Université Paris 1, thèse de doctorat.
- Pinchemel P. Pinchemel G. 1988, *La face de la terre*. Paris, A. Colin.
- Pred A. 1977, *City systems in advanced economies*. London, Hutchinson.
- Pumain D. 1982, *La dynamique des villes*. Paris, Economica.

- Pumain D. 1993, L'espace, le temps et la matérialité des villes, in B. Lepetit et D. Pumain (eds), *Temporalités urbaines*. Paris, Anthropos, 133-157.
- Pumain D. 1997, Vers une théorie évolutive des villes. *L'Espace Géographique*, 2, 119-134.
- Pumain D. 2001, Villes, agents et acteurs en géographie. *Revue européenne des sciences sociales*, 121, 81-93.
- Pumain D. 2003, Une approche de la complexité en géographie. *Geocarrefour*, 78, 1, 25-31.
- Pumain D. (ed.) 2006, *Hierarchy in natural and social sciences*. Springer, Methodos series, 3.
- Pumain D. Bretagnolle A. Degorge-Lavagne M. 1999, La ville et la croissance urbaine dans l'espace-temps. *Mappemonde*, 3, 38-42.
- Pumain D. Bretagnolle A., Rozenblat C. 1999, Croissance et sélection dans le système des villes européennes (1600-2000). *Travaux de l'Institut de Géographie de Reims*, vol.26, n°101-104, p. 105-135.
- Pumain D. Robic M.C. 1996, Théoriser la ville, in Derycke P.H. Huriot J.M. Pumain D. (eds), *Penser la ville, théories et modèles*. Paris, Anthropos, chap. 4, 107-161.
- Pumain D. Moriconi-Ebrard F. 1997, City Size distributions and metropolisation. *Geojournal*, 43 :4, 307-314.
- Pumain D. Paquot T. Kleinschmager R. 2006, *Dictionnaire La ville et l'urbain*. Paris, Anthopos.
- Quandt R.E. 1964, Statistical discrimination among alternate hypothesis and some economic regularities. *Journal of Regional Science*, 5, 2, 1-23.
- Reclus E., 1895, "The evolution of cities", *The Contemporary Review*, 67, 2, p. 246-264.
- Reymond H. 1981, Une problématique théorique, in Isnard H. Racine J.-B., Reymond, *Problématiques de la géographie*. Paris, PUF.
- Reynaud J., 1841, « Villes », *Encyclopédie nouvelle*, t. VIII, Gosselin, 670-687.
- Robic M.-C. 1982, Cent ans avant Christaller, une théorie des lieux centraux. *L'Espace Géographique*, 1, 5-12.
- Robson B. T. 1973, *Urban growth, an approach*. London, Methuen.
- Roehner B.M. 1991, The long-term trend toward increased dispersion in the distribution of city sizes. *Environment and Planning*, 23, 1725-1740.
- Roehner B.M. 1995, Evolution of urban systems in the Pareto plane. *Journal of Regional Science*, 35, 2, 277-300.
- Rosen K.T., Resnick M., (1980) The size distribution of cities: an examination of Pareto Law and Primacy. *J. or Urban Economics*, 8: 165-186.
- Sanders L. 1992, *Système de villes et synergétique*. Paris, Anthropos.
- Simon H. 1955, On a class of Skew distributions. *Biometrika*, 42, 425-440.
- Tornqvist G.E. 1973, Systems of Cities and Information Flows, *Lund Studies in Geography*, Serie B, 38.
- Veltz P. 1996, *Mondialisation, villes et territoires*. Paris, PUF.
- De Vries J., 1984: *European urbanisation: 1500-1800*. London, Methuen.
- White R.W. 1978, The simulation of central-place dynamics : two sectors systems and the rank-size distribution. *Geographical Analysis*, 10, 2, 201-208.
- Willis J. Yule G. 1922, Some statistics of evolution and geographical distribution in plants and animals, and their significance. *Nature*, 109, 177-179.
- Wilson A. 1981, *Catastrophe theory and bifurcation*. London, Croom Helm.
- Zipf G.K. 1941, *National Unity and Disunity*. Bloomington (Indiana), Principia Press.
- Zipf G.K. 1949, *Human Behaviour and the Principle of least effort*. Cambridge (Mass.), Addison-Wesley Press.